

## DIECI ANNI DI STUDI SULLA COMUNICAZIONE VIBRAZIONALE IN *SCAPHOIDEUS TITANUS*: DALLA TEORIA ALLA PRATICA

VALERIO MAZZONI (\*) - ANDREA LUCCHI (\*\*)

(\*) *Fondazione Edmund Mach, Centro di Ricerca e Innovazione, via Mach San Michele all'Adige - 38010*

(\*\*) *Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa, Via del Borghetto 80, Pisa – 56124.*

*valerio.mazzoni@fmach.it; andrea.lucchi@unipi.it*

Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda “Insetti vettori di agenti fitopatogeni”. Seduta pubblica dell'Accademia – Firenze, 14 novembre 2014.

### *A ten-year research on vibrational communication in Scaphoideus titanus: from theory to practice.*

*Scaphoideus titanus* Ball (Hemiptera: Cicadellidae) is a feared Nearctic univoltine leafhopper, vector of Flavescence dorée phytoplasma (FD) in European vineyards. In this insect, pair formation and mating are mediated by substrate-borne vibrational signals. Males call spontaneously, carrying out a specific “call and fly” behaviour followed by a courtship song. Females emit signals only in response to males. Rival males compete for mating, producing a disruptive noise (DN) aimed at interrupting a duet in place between pairs.

Concurrently with the first description of this behavior, which took place at the “3<sup>rd</sup> European Hemiptera Congress” (St. Petersburg 2004), we started thinking about how to utilize this knowledge in practice. The first step was to speculate on the use of a playback of the male DN in laboratory tests to prevent copula. The extremely positive results obtained stimulated us to take a step forward, testing a system of potted plants in plastic cages interconnected by an iron wire to simulate a vineyard trellis. A vibrational shaker prototype provided by industry (CBC Europe, Milan Branch) was applied to the wire and used to transfer the DN to the plants. Virgin males and females were repeatedly released in the cages for the time of the experiment (18 hours). In this way, about 90% of pairs were disrupted up to 10 meters away from the shaker, whereas 80% of pairs mated in the non-vibrated control plants. Similar positive results were obtained by applying the system, with approximately same materials and methods, on plants of a vineyard. A further experiment included the use of a new prototype of shaker designed to transfer DN to longer distances along the row, while keeping the efficiency and the lowest possible power consumption. This is an important requirement by industry, which is concerned with developing and putting in the market an economically feasible device. In this test we found that 65% of mating disruption is still possible at 45 m and 18 h of shaker operation are necessary to get success in 80% of cases. Now our aim is to further optimize the system in order to: (1) make it an economically sustainable tool for agricultural use; (2) set pilot and demo tests in commercial farms; (3) make the device effective for control of other pests.

KEY WORDS: Hemiptera, Cicadellidae, Sound Communication, Disruptive Signals, Mating Disruption

### INTRODUZIONE

La comunicazione vibrazionale via substrato è utilizzata con varie modalità da oltre 150.000 specie di insetti, oltre che da svariati altri artropodi, tra cui in particolare ragni e crostacei. Si tratta con tutta probabilità del sistema di comunicazione in assoluto più diffuso in natura, i cui segnali, detti “vibrazionali”, viaggiano attraverso un substrato solido (piante, suolo etc) (COCROFT & RODRIGUEZ, 2005). Tale caratteristica li distingue da altri segnali acustici in senso lato che, al contrario, viaggiano attraverso il mezzo liquido o gassoso (HILL, 2008).

I segnali vibrazionali possono svolgere innumerevoli funzioni in ambito intra- e interspecifico, permettendo ad esempio l'identificazione di un individuo, la localizzazione di una preda, il corteggiamento di un partner, oppure venendo emessi

nel contesto di atteggiamenti intimidatori nei confronti di rivali o nemici naturali. Tra tutti gli insetti, gli Emitteri annoverano la casistica più ampia, soprattutto in relazione al comportamento riproduttivo (ČOKL & VIRANT-DOBERLET, 2003).

Oggetto del presente contributo è la comunicazione vibrazionale della cicalina della flavescenza dorata *Scaphoideus titanus* Ball, che da circa un decennio è da noi utilizzata come insetto modello per lo studio dei segnali vibrazionali, in vista di un loro possibile utilizzo in campo agrario, in una sorta di confusione sessuale vibrazionale.

*S. titanus* è dotato di una comunicazione essenzialmente unimodale, nella quale altri sensi come olfatto e vista giocano un ruolo marginale durante le fasi che precedono l'accoppiamento. Nei prossimi paragrafi saranno illustrate le diverse fasi di sviluppo di questa ricerca che, a partire dalla descrizione del comportamento riproduttivo della

specie e dei segnali vibrazionali ad esso associati, è infine giunta alla proposta di un innovativo metodo di confusione sessuale “vibrazionale”, basato sullo sfruttamento di conoscenze fisiologiche e fisiche del sistema insetto/pianta. Esperimenti condotti in pieno campo hanno dimostrato l’effettiva potenzialità del metodo pur evidenziandone alcuni limiti, principalmente legati ad aspetti tecnologici, che al momento, causa gli elevati costi energetici necessari per consentire il trasferimento efficace dei segnali a lunga distanza, ne limitano le possibili applicazioni in vigneto.

## STRUMENTI E OBIETTIVI

Strumento indispensabile per lo studio della comunicazione vibrazionale negli insetti è il vibrometro laser. Questo è in grado di rilevare vibrazioni del substrato fino a valori di sensibilità comparabili con quelli dei mecano-recettori di molti insetti, nell’ordine di velocità di vibrazione del substrato di nm/s (MICHELSEN, 2014). Attraverso l’acquisizione dei segnali tramite opportuni hardware e la successiva analisi svolta con specifici software, è possibile elaborare e interpretare i dati raccolti. Nel corso dei nostri studi sono stati usati due modelli di vibrometro laser (Polytec PDV 100; Ometron VQ-500-D-V), uno strumento di acquisizione (LAN XI, Bruel & Kjaer, Nærum, Denmark) e vari software per l’analisi dati (Adobe Audition 3.0, Cool Edit Pro, Raven, Pulse). Le trasmissioni inverse, cioè in playback, dal computer alla pianta, hanno avuto lo scopo di verificare l’effettiva funzione dei segnali, in termini di risposte comportamentali indotte negli insetti. Lo strumento da noi usato per trasmettere le vibrazioni al substrato è stato il ‘minishaker’ (Mod. 4810 Bruel & Kjaer). Tutti gli esperimenti sono stati ripresi con videocamera (Panasonic HDCTM700, Hamburg, Germany) connessa al vibrometro laser e dotata di lente macro (Raynox dcr-25), in modo da poter definire l’effettiva associazione tra insetti, segnali e comportamenti.

## RISULTATI

### *Comportamento Riproduttivo*

*S. titanus* è una specie di origine nearctica rinvenuta in diversi paesi europei a partire dagli anni ’50, dove svolge un ciclo monovoltino e, in natura, è ritenuta monofaga sul genere *Vitis* (VIDANO, 1964; MAZZONI *et al.*, 2005). Gli adulti compaiono in estate, a partire dal mese di luglio, e sono rinvenibili fino ad autunno inoltrato. Causa una certa

proterandria e una ricettività sessuale femminile che inizia ad esprimersi a circa una settimana dallo sfarfallamento, gli accoppiamenti si concentrano principalmente tra la seconda metà di luglio e la fine di agosto (CHUCHE & THIERY, 2014). Il comportamento riproduttivo è guidato pressoché esclusivamente da segnali vibrazionali di substrato. Tale attività è principalmente crepuscolare e avviene a partire dal tardo pomeriggio, con massima frequenza tra le 18 e le 20 (MAZZONI *et al.*, 2009a). In tutto sono stati descritti in *S. titanus* 3 tipologie di duetto, che si differenziano tra loro essenzialmente per due caratteristiche: (1) il tipo di impulso emesso dal maschio e (2) il ritardo con cui un impulso maschile segue quello femminile (POLAJNAR *et al.*, 2014). Esistono due tipologie di impulso maschile, chiamate rispettivamente MP1 e MP2. I maschi in cerca di partner emettono uno o più segnali di “chiamata” (Male Calling Song) costituiti da una serie regolare di MP1 ad intensità crescente (Fig. 1A). Le femmine ricettive possono rispondere con un segnale proprio, l’impulso femminile (Female Pulse, FP) che comporta l’instaurarsi di un duetto maschio/femmina in cui i segnali dei due sessi si alternano. Qualora nessuna femmina risponda alla chiamata, il maschio abbandona la foglia con un salto (strategia detta “call & fly”; di solito il maschio esegue almeno un due chiamate prima di muoversi) (MAZZONI *et al.*, 2009a; POLAJNAR *et al.*, 2014). Se, viceversa, una femmina risponde, si costituisce un duetto di “identificazione” durante il quale il maschio rallenta le emissioni di MP1 in presenza di FP, per cui l’intervallo MP1-MP1 (in assenza di segnale femminile) risulterà uguale a quello FP-MP1 (Fig. 1B). Una volta avvenuta l’identificazione, il maschio inizia a muoversi, camminando sulla pianta alla volta della foglia in cui si trova la femmina. In questa seconda fase si ha un cosiddetto duetto di “localizzazione” in cui il maschio compie delle soste durante le quali di nuovo emette soltanto degli MP1 nelle fasi di ricerca attiva (Fig. 1C). A differenza del duetto precedente, però, in questo caso il maschio non rallenta l’emissione di segnali percependo il FP, per cui l’intervallo FP-MP1 risulterà significativamente inferiore a quello MP1-MP1 non intervallato da un FP (POLAJNAR *et al.*, 2014). Una volta localizzata la femmina (cioè quando i due individui vengono a trovarsi sulla medesima foglia) si attiva il duetto di corteggiamento, nel quale il maschio emette un canto suddiviso in quattro settori, nei primi due dei quali gli impulsi (nel secondo settore anche di tipo MP2) sono accompagnati da un suono a banda stretta in frequenza armonica, onomatopeicamente chiamato “buzz” (Fig. 1D). Il duetto di corteg-

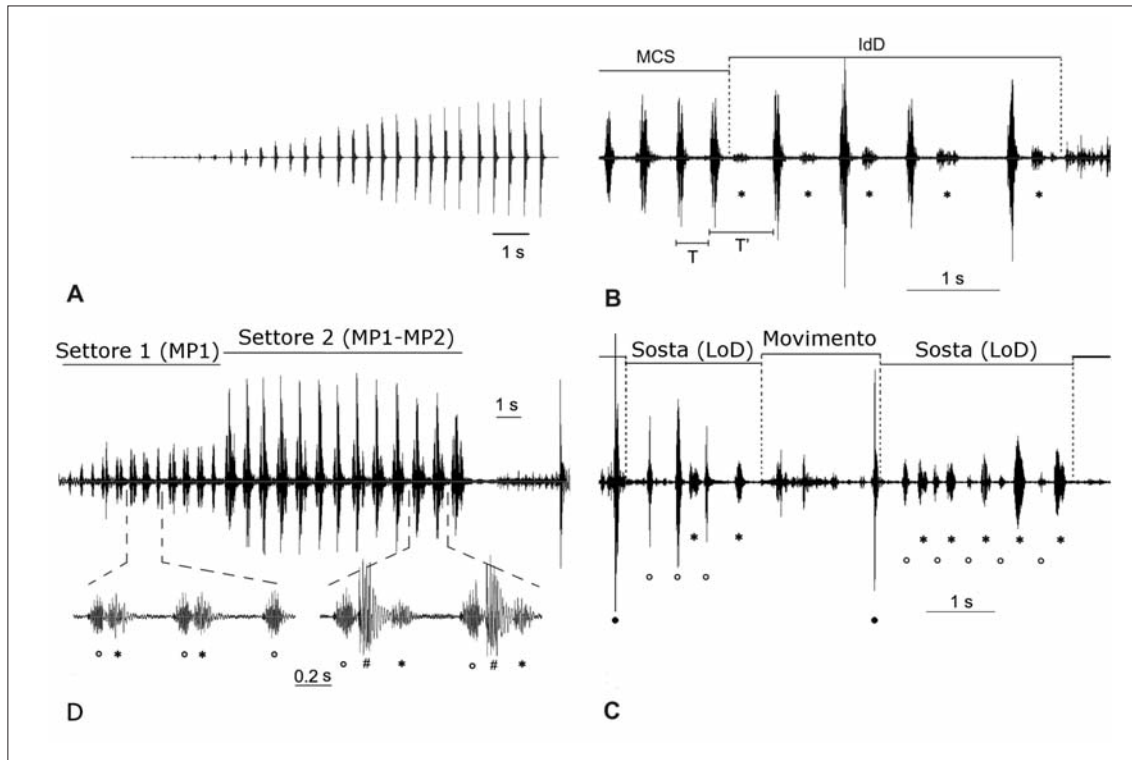


Figura 1

Oscillogrammi dei principali segnali vibrazionali emessi da *S. titanus* nelle fasi che precedono l'accoppiamento. In senso orario: A. Segnale di chiamata del maschio; B. Duetto di Identificazione tra maschio e femmina che segue al segnale di chiamata; C. Duetto di Localizzazione; D. Duetto di corteggiamento con dettaglio a scala ingrandita nei due riquadri in basso. \* = MP1; # = MP2; ° = FP; MCS = Segnale di Chiamata del Maschio; IdD = Duetto di Identificazione; LoD = Duetto di Localizzazione.

giamento si conclude con la copula a cui non è associata alcuna emissione di segnali (MAZZONI *et al.*, 2009a).

In realtà esiste anche un altro segnale maschile che viene emesso solo in presenza di altri maschi (potenziali rivali). Si tratta del “segnale di disturbo” (disturbance noise, DN). Il DN copre esattamente la banda di frequenza del FP e serve a mascherare la risposta di una femmina ai sensori del maschio in ascolto. In pratica un maschio usa questo segnale per interrompere un duetto in corso tra una femmina e un altro maschio allo scopo di sostituirvisi (MAZZONI *et al.*, 2009a, b).

#### Test di confusione sessuale in laboratorio

Per accertare la possibilità di interrompere la comunicazione maschio/femmina nelle fasi che precedono la copula, sono stati testati in laboratorio diversi tipi di segnali “sintetici” (MAZZONI *et al.*, 2009b). Questi sono stati immessi in playback nei tessuti della pianta (foglie di vite su cui erano state poste coppie di *S. titanus*). Tra i segnali utilizzati, due erano in banda di frequenza “pura” (60 Hz, 200 Hz) e due in banda larga (rumore bianco 0-2000 Hz e il DN). Ulteriori test di controllo sono stati l’inserimento di un secondo maschio

(test trio: controllo positivo) e l’assenza di interferenza (controllo negativo).

I risultati del test hanno evidenziato l’interruzione totale di comunicazione tra i sessi per i segnali in banda larga e una riduzione significativa per i toni di frequenza pura (60 Hz: 70%; 200 Hz: 56%). Il controllo negativo ha, viceversa, visto sempre il conseguimento della copula, mentre nel test trio solo in 1 caso (su 15) si è osservato l’accoppiamento.

Questi risultati hanno confermato l’ipotesi che segnali vibrazionali intrusivi, se dotati di opportune caratteristiche spettrali, possano effettivamente indurre l’interruzione del dialogo tra i sessi. Per un approfondimento di tali conoscenze, la natura spettrale dei segnali e le caratteristiche sensoriali dell’insetto sono stati posti come successivi obiettivi delle nostre ricerche.

#### Caratteristiche del sistema insetto pianta: network dello spazio attivo

In acustica, lo spazio attivo di un segnale è definito come lo spazio tridimensionale in cui l’ampiezza del segnale è sufficientemente al di sopra della soglia di rilevazione dei potenziali riceventi, così da poter di suscitare in essi una risposta com-

portamentale. I fattori che descrivono lo spazio attivo sono: (1) l'ampiezza del segnale alla sorgente; (2) il tasso di attenuazione durante la trasmissione attraverso il mezzo; (3) l'ampiezza del rumore di fondo; (4) la soglia di sensibilità del ricevitore (BRENOWITZ, 1982). Un quinto fattore sarebbe il tempo, allorché considerassimo il periodo del giorno in cui l'insetto emette segnali. Questo aspetto è importante proprio nel caso di *S. titanus*, in quanto la sua azione è per lo più concentrata in una finestra temporale serale, sulla quale incidono anche le condizioni meteorologiche (temperatura, vento, precipitazioni) (MAZZONI *et al.*, 2014c).

Se trasferiamo la definizione di spazio attivo al sistema pianta/insetto, scopriamo che il segnale vibrazionale è legato alla continuità di substrato, restando pertanto confinata ai tessuti vegetali su cui l'insetto emettitore si trova. La maggior parte di arbusti e alberi, presentano un complesso sistema di rami e foglie in cui ogni biforcazione apre un nuovo percorso per il segnale e determina una rete di spazio attivo (ASN). L'ASN può essere, pertanto, definita come la rete (tipo cladogramma) di tessuti, coperta dal segnale attivo, che si diffonde da una fonte vibrazionale. Data però l'ampia eterogeneità dei tessuti di una pianta (parti verdi e legnose, diametro e consistenza dei tessuti etc.) è difficile prevedere con esattezza l'ASN determinato da un insetto in chiamata, e porzioni di piante possono irregolarmente trovarsi sotto la soglia di ricezione del segnale di un individuo in ascolto, con l'esito di creare un ASN variabile e discontinuo (MAZZONI *et al.*, 2014c).

Analizzando col vibrometro laser i valori di intensità del segnale (come velocità di vibrazione substrato in corrispondenza della frequenza dominante) durante il duetto tra maschi e femmine, e posizionando il laser nei pressi del maschio (entro 1 cm), si è riscontrato che per valori percepiti del segnale femminile al di sopra di  $1 \times 10^{-5}$  m/s, tra i due si instaurava un duetto di corteggiamento; nel range tra  $1 \times 10^{-5}$  e  $1 \times 10^{-6}$  si avevano duetti di riconoscimento e di localizzazione, mentre al di sotto di quest'ultimo valore il maschio andava in "call & fly". Da sottolineare come i valori di intensità del segnale che determinavano il duetto di corteggiamento si verificavano quando i due individui venivano a trovarsi su una stessa foglia (picciolo compreso). Viceversa quando i due si trovavano su differenti parti della pianta, l'intensità dei segnali calava di almeno 10 dB, determinando di fatto nel maschio gli altri comportamenti (ERIKSSON *et al.*, 2011; POLAJNAR *et al.*, 2014).

#### *Test di confusione sessuale su piante di vite*

La fase conclusiva della ricerca ha visto il trasferimento delle conoscenze precedentemente acqui-

site in laboratorio alla realtà di campo, allo scopo di trasferire alle viti dei segnali di disturbo del tipo DN, con caratteristiche adatte ad interrompere la comunicazione sessuale in *S. titanus* e impedirne così l'accoppiamento (Fig. 2A). Segnali vibrazionali sono stati applicati, in un primo esperimento, a piante in vaso in condizioni di semi-campo e, successivamente, a piante radicate in campo, attraverso il filo metallico di sostegno presente sulla fila. La realizzazione di uno specifico dispensatore di vibrazioni (Fig. 2B), appeso e fissato al filo, ha permesso la trasmissione del segnale di disturbo, che è stato testato su coppie vergini di *S. titanus* allevate in laboratorio e immesse sui germogli di vite in pieno campo, all'interno di manicotti di rete per un tempo di 24h (Fig. 2C). In questo caso il numero di accoppiamenti è sceso al 9% in condizioni di semi-campo e al 4% in vigneto, a fronte di un 80% di accoppiamenti nel controllo.

Dai risultati ottenuti appare evidente come un opportuno utilizzo di segnali vibrazionali sintetici siano in grado di interrompere efficacemente la comunicazione in *S. titanus*, andando ad interferire sui comportamenti di riconoscimento-localizzazione-corteggiamento (ERIKSSON *et al.*, 2012).

#### PROSPETTIVE FUTURE

Seppur limitati ad una sola specie, i dati in nostro possesso confermano che la confusione sessuale attraverso vibrazioni è un approccio possibile ed efficace, probabilmente estendibile ad altri insetti la cui comunicazione intraspecifica a fini riproduttivi si basi sul ricorso a segnali vibrazionali.

Come nel caso della confusione sessuale con feromoni (IORIATTI *et al.*, 2011), la tecnica vibrazionale può essere utile a portare e mantenere le popolazioni bersaglio ad un livello accettabile riguardo al possibile danno economico per le colture (ČOKL & MILLAR, 2009; POLAJNAR *et al.*, 2015). Infatti, oltre ad una significativa riduzione del numero di accoppiamenti, è pensabile ipotizzare un generale fenomeno di ritardo nella tempistica degli stessi, che a loro volta potrebbero comportare, come nei Lepidotteri (TORRES VILA *et al.*, 2002), una più ridotta fecondità femminile.

Nei casi più difficili, nei quali questa tecnica venga diretta al controllo di insetti vettori di fitoplasmi o virus, dovrebbe necessariamente essere integrata (almeno nei primi anni) con misure di lotta chimica.

Nel vasto e pionieristico mondo del vibrazionale, ancora molti aspetti rimangono oscuri. Sarà determinante, per lo sviluppo del sistema, comprendere gli effetti delle vibrazioni sintetiche su





Figura 2

A. Coppia di adulti di *S. titanus* in copula; B. Uno dei dispensatori di vibrazioni utilizzati per i test di campo. Vari prototipi si sono succeduti nel corso degli anni; C. Vigneto che ha ospitato le ricerche a San Michele all'Adige (TN). Coppie di *S. titanus* venivano rilasciate per 24 h dentro manicotti di rete contenenti un totale di 5-7 foglie pienamente sviluppate.

insetti non bersaglio appartenenti ai diversi livelli trofici, oltre a definire la valenza che le differenti condizioni ambientali (pioggia, vento, pressione atmosferica) possono rivestire in campo aperto.

Ad oggi il vero limite rimane quello tecnologico. Il consumo energetico è il primo fattore da tenere in considerazione, in quanto i dispenser vibrazionali funzionano a corrente elettrica. L'altro punto fondamentale è la necessità di adattare il sistema alle numerose forme di viticoltura esistenti, che si traducono in diverse tipologie di allevamento e di gestione delle piante, con tutto ciò che ne consegue in termini di trasmissione del segnale.

Il merito della ricerca fin qui condotta è quello di aver proposto, per la prima volta a livello mondiale, un nuovo approccio alla gestione di un problema di natura entomologica. Considerando il vasto numero di insetti che utilizzano il linguaggio vibrazionale nella comunicazione intra- ed interspecifica, il potenziale applicativo di questa tecnica innovativa è teoricamente molto elevato e per questo merita in futuro ulteriori approfondimenti nei confronti di altri sistemi insetto/pianta.

#### RINGRAZIAMENTI

Un sentito ringraziamento va a Vittorio Veronelli e a CBC Europe, per aver finanziato con entusiasmo e lungimiranza le nostre ricerche fin dagli inizi. Un grazie di cuore va ovviamente a tutti coloro che hanno contribuito a vario titolo alle ricerche in oggetto e che hanno partecipato come coautori nei numerosi contributi pubblicati su riviste internazionali di settore (M. Virant-Doberlet, A. Eriksson, G. Anfora, J. Polajnar, A. Čokl, J. Prešern, V. Rossi Stacconi).

#### RIASSUNTO

La comunicazione vibrazionale è, con tutta probabilità, il sistema di comunicazione più diffuso in natura. I segnali vibrazionali agiscono sia in ambito intra- che interspecifico, permettendo l'identificazione di un conspecifico, la localizzazione di una preda, il corteggiamento di un partner, oppure venendo emessi nel contesto di atteggiamenti intimidatori nei confronti di rivali o nemici naturali. Tra tutti gli insetti, gli Emitteri annoverano la casistica più ampia, soprattutto in relazione al comportamento riproduttivo. Oggetto del presente contributo è la comunica-

zione vibrazionale in *Scaphoideus titanus*, che da circa un decennio è da noi utilizzato come insetto modello per lo studio dei segnali vibrazionali, in vista di un loro possibile utilizzo in campo agrario, in una sorta di confusione sessuale vibrazionale.

A partire dalla descrizione del comportamento riproduttivo della specie e dei segnali vibrazionali ad esso associati, si è giunti alla definizione di un possibile innovativo metodo di confusione sessuale “vibrazionale”, basato sullo sfruttamento di conoscenze fisiologiche e fisiche del sistema insetto/pianta. Esperimenti condotti in semicampo e in pieno campo hanno dimostrato l’effettiva potenzialità del metodo, pur evidenziandone alcuni limiti, principalmente legati ad aspetti tecnologici che, richiedendo elevati costi energetici per consentire il trasferimento dei segnali a lunga distanza, ne limitano al momento le possibili applicazioni in vigneto. Il merito della ricerca fin qui condotta è quello di aver proposto, per la prima volta a livello mondiale, un nuovo approccio alla gestione di un problema di natura entomologica. Considerando il vasto numero di insetti che utilizzano il linguaggio vibrazionale nella comunicazione intra- ed interspecifica, il potenziale applicativo di questa tecnica è teoricamente molto elevato e per questo merita in futuro ulteriori approfondimenti nei confronti di altri sistemi insetto/pianta.

#### BIBLIOGRAFIA

- BRENOWITZ E. A., 1982 - *The active space of red-winged blackbird song*. - Journal of Comparative Physiology, 147 (4): 511-522.
- CHUCHE J., THIÉRY D., 2014 - *Biology and ecology of the Flavescence dorée vector Scaphoideus titanus: a review*. - Agronomy for Sustainable Development, 34 (2): 381-403.
- COCROFT R.B., RODRIGUEZ R.L., 2005 - *The behavioral ecology of insect vibrational communication*. - Bio Science, 55: 323-334.
- ČOKL A., MILLAR J.G., 2009 - *Manipulation of insect signaling for monitoring and control of pest insects*. In: Ishaaya I e Horowitz A.R., *Biorational Control of Arthropod Pests: Application and Resistance Management*, Springer Dordrecht, pp. 279-316.
- ČOKL A., VIRANT-DOBERLET M., 2003 - *Communication with substrate-borne signals in small plant-dwelling insects*. - Annu. Rev. Entomol., 48: 29-50.
- ERIKSSON A., ANFORA G., LUCCHI A., VIRANT-DOBERLET M., MAZZONI V., 2011 - *Inter-plant vibrational communication in a leafhopper insect*. - PLoS ONE, 6 (5): e19692.
- ERIKSSON A., ANFORA G., LUCCHI A., LANZO F., VIRANT-DOBERLET M., MAZZONI V., 2012 - *Exploitation of insect vibrational signals reveals a new method of pest management*. - PLoS ONE, 7 (3): e32954.
- HILL P.S.M., 2008 - *Vibrational Communication in Animals*. Harvard University Press, Cambridge, MA, 261 pp.
- IORIATTI C., ANFORA G., TASIN M., DE CRISTOFARO A., WITZGALL P., LUCCHI A., 2011 - *Chemical ecology and management of Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). - Journal of Economic Entomology, 104 (4): 1125-1137.
- MAZZONI V., ALMA A., LUCCHI A., 2005 - *Cicaline dell’agroecosistema vigneto e loro interazioni con la vite nella trasmissione di fitoplasmi*. - Quaderno A.R.S.I.A. 3/05, LCD srl, Firenze: 55-73.
- MAZZONI V., PREŠERN J., LUCCHI A., VIRANT-DOBERLET M., 2009a - *Reproductive strategy of the Nearctic leafhopper Scaphoideus titanus* Ball (Hemiptera: Cicadellidae). - Bull. Entomol. Res., 99: 401-413.
- MAZZONI V., LUCCHI A., ČOKL A., PREŠERN J., VIRANT-DOBERLET M., 2009b - *Disruption of the reproductive behaviour of Scaphoideus titanus by playback of vibrational signals*. - Entomol. Exp. Appl., 133: 174-185.
- MAZZONI V., ERIKSSON A., ANFORA G., LUCCHI A., VIRANT-DOBERLET M. 2014 - *Active space and the role of amplitude in plant-borne vibrational communication. Studying vibrational communication*. - Springer Berlin Heidelberg, 125-145.
- MICHELSSEN A., 2014 - *Physical aspects of vibrational communication. Studying vibrational communication*. - Springer Berlin Heidelberg, 199-213.
- POLAJNAR J., ERIKSSON A., ROSSI STACCONI M.V., LUCCHI A., ANFORA G., VIRANT-DOBERLET M., MAZZONI V., 2014. *The process of pair formation mediated by substrate-borne vibrations in a small insect*. - Behavioural processes, 107: 68-78.
- POLAJNAR J., ERIKSSON A., LUCCHI A., ANFORA G., VIRANT-DOBERLET M., MAZZONI V. 2015 - *Manipulating behaviour with substrate-borne vibrations, potential for insect pest control*. - Pest Management Science, 71 (1): 15-23.
- TORRES-VILA L.M., RODRIGUEZ-MOLINA M.C., STOCKEL J., 2002 - *Delayed mating reduces reproductive output of female European grapevine moth, Lobesia botrana* (Lepidoptera:Tortricidae). - Bull. Entomol. Res., 92: 241-249.
- VIDANO C., 1964 - *Scoperta in Italia dello Scaphoideus litoralis* Ball, *cicalina americana collegata alla «Flavescence dorée» della Vite*. - L’Italia agricola, 101: 1031-1049.